

Peter Randelzhofer

# Sofortbelastung von Implantaten im kompromittierten Oberkieferfrontzahnbereich

## Können wir, was wir wollen, oder wollen wir, was wir können?



### INDIZES

*Implantatinsertion, Belastungszeitpunkt, Implantatstabilitätsparameter, Kaltplasma-Aktivierung, Gewindedesign, ästhetische Frontzahnrestauration, Weichgewebemanagement*

### ZUSAMMENFASSUNG

Eine ausreichende primärstabile Verankerung ist von enormer Wichtigkeit, um Implantate vorhersehbar nach einem Sofort- oder einem Frühbelastungsprotokoll versorgen zu können. Insbesondere das gestiegene ästhetische Bewusstsein der Patienten und der Wunsch nach einer schnellen implantatprothetischen Versorgung haben dazu geführt, dass die Möglichkeiten einer sofortigen oder frühen Implantatversorgung und Implantatbelastung immer stärker in den Fokus implantologisch tätiger Zahnärzte rücken. Die angestrebten Versorgungs- und Belastungsprotokolle können mit neuartigen Nanotopografien, Funktionalisierung mittels UV-Bestrahlung/Kaltplasma-Vorbehandlung und/oder progressiven Gewindedesigns auch im lagerschwachen Knochen umgesetzt werden. Die prothetische Sofortversorgung kann dazu genutzt werden, über das Design des Provisoriums zu einem optimalen Weichgewebemanagement und somit zu einem guten ästhetischen Behandlungsergebnis zu **gelangen**. Die vorliegende Publikation präsentiert ein Fallbeispiel und die Ergebnisse einer Fallserie nach Sofortversorgung und -belastung **durch** Implantate mit funktionalisierter Oberfläche und einem progressiven Gewindedesign.

Manuskripteingang: 25.11.2021, Annahme: 25.01.2022

### Einleitung

Die Fortschritte in der dentalen Implantologie machen es möglich, Patienten schnell und vorhersehbar mit Implantaten zu versorgen. Neben der konventionellen Implantatversorgung im ausgeheilten Kieferknochen nach Zahnextraktion und der funktionellen Belastung der Implantate erst nach einer angemessenen Einheilzeit gibt es weitere mögliche Zeitschienen, um Implantate zu inserieren und funktionell zu belasten. Zusätzlich zum konventionellen Insertions-, Belastungs- und Versorgungsprotokoll werden mittlerweile

Konzepte zur Sofort- und verzögerten Insertion und zur Sofort-, Früh- und verzögerten Belastung und Versorgung von Dentalimplantaten umgesetzt. Die Nomenklatur und die Angaben zu den Zeitintervallen der verschiedenen Insertions-, Versorgungs- und Belastungsprotokolle sind in der Literatur unterschiedlich. Eine grobe Orientierung geben die systematischen Reviews der Cochrane Collaboration<sup>1,2</sup> sowie insbesondere die Ergebnisse der Konsensuskonferenzen des International Team for Implantology (ITI) aus den Jahren 2003–2018<sup>3–8</sup> (Tab. 1). Entsprechende Weiterentwicklungen, unter anderem des

Implantatmakro- und -mikrodesigns, sollen dazu beitragen, eine primärstabile Verankerung und eine möglichst frühe Belastung der Implantate zu ermöglichen. Die frühe Belastbarkeit von Dentalimplantaten macht es dabei nicht nur möglich, den Patienten schnell und sicher prothetisch zu versorgen, sondern erlaubt es **auch**, über ein entsprechendes Weichgewebemanagement durch die prothetische Sofortversorgung – insbesondere bei festsitzender Versorgung im ästhetisch anspruchsvollen Oberkieferfrontzahnbereich – eine ästhetisch ansprechende und funktionell langfristig stabile implantatprothetische Lösung zu finden<sup>9–11</sup>. In klinischen Studien<sup>12–14</sup>, systematischen Reviews<sup>15</sup> und Metaanalysen<sup>16</sup> wiesen die Ergebnisse mehrheitlich darauf hin, dass Sofortversorgungs- und Sofortbelastungsprotokolle mit guten Implantaterfolgs- und -überlebensraten assoziiert sind.

Die Knochenqualität gilt als wichtigster Faktor für die primär- und sekundärstabile Verankerung von Implantaten. Einstufungen des Kieferknochens anhand seiner Qualität in verschiedene Knochenklassen erfolgten durch Misch<sup>17</sup> sowie Lekholm und Zarb<sup>18</sup> und sollen es erleichtern, Behandlungsentscheidungen und Verlaufsprognosen bei der Implantatversorgung zu ermöglichen (Tab. 2). Bornstein et al. gaben in ihrer retrospektiven klinischen Untersuchung beispielsweise an, dass eine Sofortbelastung nur in Knochen der Typen D1–D3 erfolgen sollte<sup>19</sup>. Langzeitergebnisse einer weiteren retrospektiven Studie konnten zeigen, dass bei Sofortversorgung und Sofortbelastung von Implantaten zwar ähnlich gute Ergebnisse erzielt wurden wie bei einer konventionellen Belastung, gleichzeitig hatte Knochen einer D3- und D4-Qualität jedoch

Tab. 1 Überblick zu Insertions- und Belastungsprotokollen laut ITI-Konsensuskonferenz 2018.

Typ	Insertion	Belastung	Zeitspanne Extraktion bis Insertion	Zeitspanne Insertion bis Belastung	Überlebensraten
1A	sofort	sofort	am gleichen Tag	< 1 Woche	98,0 %
1B	sofort	früh		1 Woche ≤ 2 Monate	98,0 %
1C	sofort	konventionell		> 2 Monate	96,0 %
2–3A	früh	sofort	Typ 2: 4–8 Wochen (abgeschlossene Weichgewebeheilung)	< 1 Woche	96,0 %
2–3B	früh	früh		1 Woche ≤ 2 Monate	
2–3C	früh	konventionell	Typ 3: 12–16 Wochen (partielle Knochenheilung)	> 2 Monate	
4A	spät	sofort	> 16 Wochen (abgeschlossene Knochenheilung)	< 1 Woche	98,0 %
4B	spät	früh		1 Woche ≤ 2 Monate	
4C	spät	konventionell		> 2 Monate	

Tab. 2 Knochendichteklassen, angepasst nach Misch<sup>17</sup> sowie Lekholm und Zarb<sup>18</sup>.

Knochen-dichte	Knochenstruktur und Zusammensetzung				Bohrgefühl		Anatomische Lokalisation			
	Misch		Lekholm & Zarb		Misch	Lekholm & Zarb	Misch		Lekholm & Zarb	
	Kortikalis	Spongiosa	Kompakta	Spongiosa			Oberkiefer	Unterkiefer	Oberkiefer	Unterkiefer
D1	dicht	–	dicht	–	Eichenholz	Eichenholz	–	anterior	–	anterior
D2	porös	–/geringe Anteile	breit	engmaschig	Buchenholz	Kiefernholz	anterior	anterior, PM-Region	anterior	anterior
D3	dünn	fein, trabekulär	dünn	engmaschig	Fichtenholz	Balsaholz	posterior	posterior	anterior, posterior	posterior
D4	–	fein, trabekulär	–/dünn	weitmaschig	Balsaholz	Styropor	posterior	–	posterior	–

–, nicht vorhanden; PM, Prämolaren.



Abb. 1a bis c Klinische Ausgangssituation: Persistierender Milchzahn 52 in Regio 12 und Lückenversorgung in Regio 22 mittels Adhäsivbrücke.

einen signifikant negativen Einfluss auf den Langzeiterfolg von Implantaten<sup>20</sup>. In einer aktuellen klinisch-radiologischen Untersuchung konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen hohen Grauwerten des Kieferknochens im digitalen Volumentomogramm (DVT) – als Hinweis für eine hohe Knochendichte – und einem hohen Insertionstorque (IT) sowie hohen Primärstabilitätswerten ermittelt werden<sup>21</sup>. Ebenso wurde in weiteren Studien mittels Resonanz-Frequenz-Analyse (RFA) in hochqualitativem D1-Knochen ein signifikant höherer initialer Implantat-Stabilitäts-Quotient (ISQ) als in Knochen niedrigerer **Knochenqualität** gemessen. Dies wurde ebenfalls als ein Anzeichen einer besseren primärstabilen Verankerung der Implantate **gewertet**<sup>5,22–27</sup>. Es scheint jedoch, dass auch im lagerschwachen Knochen eine ausreichende Primärstabilität für eine Sofortbelastung ermöglicht werden kann. Neben der Qualität des Knochenlagers werden daher derzeit auch implantatbezogene Parameter wie die Oberflächenstruktur und Oberflächenbehandlung, die Makrogeometrie sowie die Präparation des Implantatbetts als Einflussfaktoren für eine ausreichende primärstabile Verankerung von Dentalimplantaten diskutiert.

Diese sollen im vorliegenden Artikel anhand eines klinischen Fallbeispiels mit dem Fokus auf die ästhetische Sofortversorgung im Oberkieferfrontzahnbereich und der Ergebnisse einer Fallserie dargestellt und diskutiert werden.

## Falldarstellung

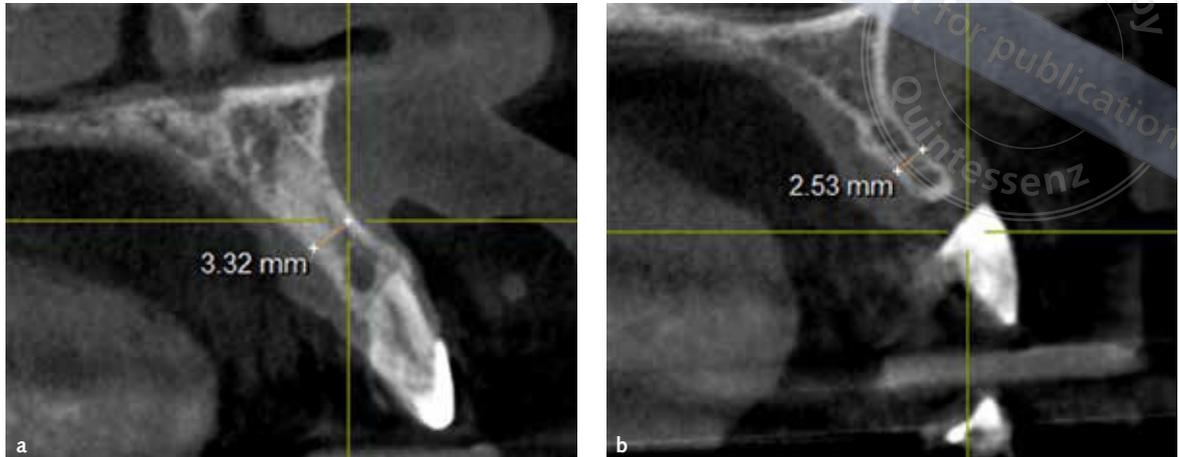
Die 21-jährige Patientin stellte sich in unserer Praxis zur implantatprothetischen Versorgung im Bereich ihrer beiden seitlichen Oberkieferschneidezähne 12 und 22 vor, die beide nicht angelegt waren. In Regio 12 befand sich zum Zeitpunkt der klinisch-röntgenologischen Untersuchung noch der Milchzahn 52, während die Lücke nach Verlust des Milchzahns 62 ca. 2 Jahre zuvor mit einer an Zahn 23 befestigten Adhäsivbrücke aus Komposit versorgt worden war (Abb. 1).

Wir entschlossen uns, nach eingehender Beratung der Patientin, für eine Implantatversorgung zum Ersatz der beiden nicht angelegten seitlichen Schneidezähne. In Regio 12 wurde eine Sofortimplantation nach Entfernung des persistierenden Milchzahns vorgesehen. Bei beiden Implantaten sollte ein Sofortversorgungsprotokoll mit provisorischen Kronen aus Komposit durchgeführt werden.

## Präoperative Diagnostik und Behandlungsplanung

Im Vorfeld der Implantattherapie erfolgte eine Beurteilung der Dicke des Alveolarfortsatzes der beiden Implantatregionen mit dreidimensionaler Bildgebung (Sirona Orthophos XG, **Fa. Dentsply Sirona**, Bensheim, Deutschland). Die geringen Alveolarfortsatzvolumina beider Regionen waren auf den Schnittbildern der digitalen Volumentomografie (DVT) gut zu erkennen (Abb. 2). In vertikaler Richtung war beidseits ausreichend Knochen vorhanden, während der Alveolarfortsatz in Regio 12 eine horizontale Breite von 3,32 mm und

**Abb. 2a und b**  
Bestimmung der Alveolarfortsatzbreite Regio 12 (a) und 22 (b) mittels DVT.



**Abb. 3** MegaGen-Implantat mit progressivem Gewinde.



in Regio 22 von 2,53 mm aufwies. Bei der Patientin lag ein gepflegtes, konservierend und prothetisch versorgtes Gebiss vor. Auffallend waren die hellen Schmelzflecken an allen Oberkieferfrontzähnen, die bei der definitiven prothetischen Restauration unbedingt in der Keramik nachempfunden werden sollten. Zum Einsatz sollten zwei MegaGen-Anyridge-Implantate (Fa. MegaGen F.D., Heidelberg, Deutschland) mit einem Durchmesser von 4,0 mm in Regio 12 und 3,5 mm in Regio 22 bei gleichbleibend kleinem Gewindedurchmesser und einer Länge von 11,5 mm kommen. Die MegaGen-Anyridge-Implantate haben ein progressives Gewindedesign und zeichnen sich laut Herstellerangaben durch eine hohe Primärstabilität bei sehr geringer Kompression des Knochens bei Insertion aus (Abb. 3). Ergebnisse tierexperimenteller In-vivo-Studien<sup>28</sup> und klinischer Humanstudien<sup>29</sup> bescheinigen dem Implantatsystem eine kontinuierliche Implantatstabilität ohne Stabilitätsverluste während der Remodellierungsphase. Aufgrund der guten Primärstabilität kann auf diesen Implan-

ten – auch bei Implantatinsertion in frische Extraktionsalveolen – ein Sofortbelastungsprotokoll erfolgen<sup>30</sup>.

### Operatives Vorgehen

Insertion, Augmentation und Abformung wurden bei beiden Implantaten unter Lokalanästhesie in einer Sitzung durchgeführt. Die Präparation des Implantatbetts in Regio 12 erfolgte rotierend mithilfe einer zahngestützten Bohrschablone, die, basierend auf einem vorherigen Wax-up, unter ästhetisch-funktionellen Gesichtspunkten CAD/CAM-gefertigt worden war (R2GATE, Fa. MegaGen F.D.). Eine Navigationsschablone wurde nicht verwendet, da das taktile Empfinden des Operateurs beim Bohrvorgang durch die Führungshülse aus Metall stark eingeschränkt wird. Die Präparation in Regio 22 erfolgte mittels Osteotom (Fa. Zepf Medical Instruments, Seitingen-Oberflacht, Deutschland), um über die Kondensation des Knochens eine ausreichende primäre Knochenverankerung sicherzustellen (Abb. 4).

Die Präparation und die Insertion wurden nach Bildung eines Mukoperiostlappens unter Sicht durchgeführt, um eine bukkale Fenestration des in horizontaler Richtung sehr schwach dimensionierten Implantatbetts möglichst zu vermeiden bzw. gering zu halten. Trotz des stark kompromittierten Alveolarknochens konnten beide Implantate mit einem IT von 35,0 Ncm primärstabil verankert werden. Die Stabilitätsmessung mit Osstell (Fa. Osstell, Gothenburg, Schweden) ergab nach



**Abb. 4a und b**  
Klinische Situation nach Extraktion des persistierenden Milchzahns 52 mit Bildung eines Mukoperiostlappens (a) und Bohrschablone in situ (b).



**Abb. 5a und b**  
Regio 12: Implantat in situ (a) und Herstellung einer Übertragungsschablone am Abformpfosten mittels Kunststoffes (b).



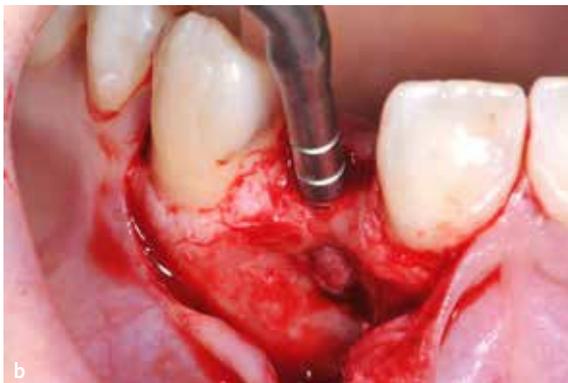
**Abb. 6a und b**  
Regio 12: Augmentation mittels „Sticky bone“ (a) und Stabilisierung des Augmentats mit einer kreuzvernetzten xenogenen Kollagenmembran (b).

erfolgreicher Insertion bei beiden Implantaten einen ISQ-Wert von 80,0 Ncm. Beide Implantate wurden kurz vor der Insertion zur Steigerung ihrer hydrophilen Oberflächeneigenschaften zusätzlich mit Atmosphärendruck-Kaltplasma für eine Dauer von 4 Minuten vorbehandelt (Plasma Activation Device-Prototyp, Fa. Diener electronic, Ebhausen, Deutschland).

Anschließend erfolgte vor der vorgesehenen vestibulären Augmentation die konventionelle Abformung über zwei zuvor hergestellte Registrierplatten (Abb. 5). Die folgende Augmentation wurde mit einer Mischung aus autologem Kno-

chen, welcher vorher aus dem linken Tuberbereich entnommen worden war, und Platelet Rich Fibrin (PRF), das nach der Methode von Choukroun (Fa. Mectron, Köln, Deutschland) zubereitet wurde, durchgeführt<sup>31</sup>. Diese Mischung aus PRF und Eigenknochen, auch als „Sticky bone“ bezeichnet, erleichtert die Applikation und hält das Augmentat am Zielort gut in Position. Über das Gemisch aus Eigenknochen und PRF wurde zusätzlich xenogener boviner Knochen (The Graft, Fa. Regedent, Dettelbach, Deutschland) geschichtet und der Bereich mit einer kreuzvernetzten Kollagenmembran porzinen Ursprungs (Ossix, Fa. Regedent)

**Abb. 7a bis c**  
 Regio 22 nach  
 Aufklappung des  
 Operationssitus  
 (a), Osteotom-  
 Aufbereitung (b),  
 Implantatinsertion  
 und Einsatz des Gin-  
 givaformers (c).



**Abb. 8** Zustand  
 nach Nahtverschluss  
 beidseits.

abgedeckt (Abb. 6 und 7). Der Weichgewebeer-  
 schluss erfolgte mittels Spaltlappentechnik und  
 Nahtfixierung um Standard-Gingivaformer des  
 Herstellers (Abb. 8).

### Prothetische Versorgung

Die Herstellung der beiden provisorischen Kro-  
 nen erfolgte nach konventioneller Abformung mit  
 Impregum (Fa. 3M, Neuss, Deutschland). Im Labor  
 wurden die Modellherstellung und anschließend ein  
 3-D-Scan des Modells (Medit-Scanner, Fa. Medit  
 Corporation, Seoul, Korea) durchgeführt, um die  
 Modelle zur CAD/CAM-Herstellung der provisoris-  
 chen Kronen zu digitalisieren. Die einteiligen pro-  
 visorischen Kronen (Krone plus Emergenzprofil zur  
 Ausformung des periimplantären Weichgewebes)  
 (New Outline, Fa. Anaxdent, Stuttgart, Deutsch-  
 land) wurden mittels der 3Shape-Software (Fa. Kul-  
 zer, Hanau, Deutschland) digital gefräst (Abb. 9).  
 Die Schraubenkanäle wurden freigelassen, um die  
 Befestigung der Kronen zu ermöglichen (Abb. 10).  
 Einen Tag nach Implantatinsertion wurden die  
 Kronen bei der Patientin direkt auf die Implantate  
 eingeschraubt. Das Operationsgebiet war reizlos,  
 wie nach Entfernung der Gingivaformer erkennbar  
 war (Abb. 11). Die Schraubenkanäle wurden nach  
 dem Einsetzen der Provisorien mit lichthärtendem  
 Komposit verschlossen. Hier bereits zeigte sich  
 der harmonische Verlauf der marginalen Gingiva  
 (Abb. 12). Sieben Tage nach der Implantatinsertion  
 erfolgte die Nahtentfernung. Sechs Monate  
 später, zum Zeitpunkt der Abformung für die Her-  
 stellung der definitiven prothetischen Rekonstruk-  
 tionen, war das periimplantäre Gewebe reizlos und  
 die Gingivamanschette im Bereich des Emergenz-  
 profils gut ausgebildet und stabil (Abb. 13). Die  
 Abformung erfolgte über die beiden Scanpfosten  
 mittels Intraoralscan (Medit-Scanner, Fa. Medit  
 Corporation) (Abb. 14). Die individuellen Abut-  
 ments und die beiden Einzelkronen wurden mit-  
 tels CAD/CAM aus Zirkonoxid gefräst. Die Zirkon-  
 oxidkronen wurden anschließend mit der Creation  
 ZI – CT-Aufbrennkeramik (Fa. Creation Willi Geller,  
 Breckerfeld, Deutschland) verblendet (Abb. 15).  
 Die Befestigung der individuellen Abutments auf  
 die Klebebasis des Implantatsystems erfolgte mit

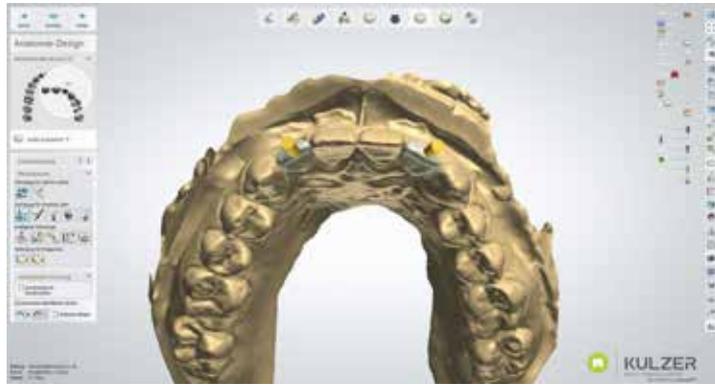


Abb. 9 Digitale Planung der provisorischen Sofortversorgung.



Abb. 10 Komposit-Kronen mit Schraubkanälen auf dem Modell.



Abb. 11 Zustand nach Entfernung des Gingivaformers in Regio 12 am Tag nach dem Eingriff.



Abb. 12 Zustand nach Einsetzen der Provisorien. Die Öffnungen zur Verschraubung wurden mit lichthärtendem Kunststoff verschlossen. Der Gingivaverlauf im Bereich der vier Frontzähne ist harmonisch.



Abb. 13 Zustand 6 Monate nach Implantatinsertion zum Zeitpunkt der digitalen Abformung zur Herstellung der definitiven Restaurationen mittels CAD/CAM.



Abb. 14 Scanpfosten in situ.

Panavia (Kuraray Noritake, Fa. Kuraray Europe, Hattersheim, Deutschland). Die Kronen wurden mit Durelon-Carboxylat-Zement (3M Deutschland) eingesetzt (Abb. 16). Beide Zahnfilme vom Tag der definitiven Eingliederung der Kronen wie-

sen keine auffälligen Befunde auf (Abb. 17). Ein Jahr nach Sofortversorgung war das periimplantäre Weichgewebe reizlos und ohne Anzeichen eines Höhenverlusts im Bereich der Interdentalpapillen und der fazialen Gingiva (Abb. 18).



Abb. 15a und b Individuelle Abutments und Kronen aus gefrästem Zirkonoxid.



Abb. 16 Klinisches Bild nach Einsetzen der definitiven Versorgung.



Abb. 17a und b Röntgenkontrolle des Implantats in Regio 12 und 22 nach Einsetzen der definitiven Versorgung.

### Messung der Primär- und Sekundärstabilität in einer Patientenkohorte

Die Patientenkohorte bestand aus insgesamt 15 Patienten, die im Zeitraum von Februar bis November 2019 mit insgesamt 17 MegaGen-Anyridge-Implantaten mit verschiedenen Durchmessern und Längen nach dem gleichen Prinzip wie das vorliegende Fallbeispiel versorgt worden

waren. Zehn der Patienten waren weiblichen und fünf männlichen Geschlechts. Bei zwei der Patienten wurden je zwei Implantate eingesetzt. Das mittlere Alter der Patientenkohorte betrug zum Zeitpunkt der Implantatinserktion 60,7 Jahre (Minimum: 34,0; Maximum: 84,0; **Standardabweichung [SD]: 15,1 Jahre**). Die Patienten hatten vor Beginn der Therapie ihr schriftliches Einverständnis zur Nutzung ihrer personenbezogenen Behandlungsdaten zu Forschungszwecken erteilt.



Abb. 18a bis c Klinischer Zustand 12 Monate nach der definitiven Versorgung.

Tab. 3 Verteilung der Implantate im Ober- und Unterkiefer.

Region	Kiefer			
	Oberkiefer	%	Unterkiefer	%
Frontzahn	2	11,7	0	0,0
Prämolar	10	76,6	1	100,0
Seitenzahn	2	11,7	0	0,0

Die statistische Analyse erfolgte mittels WinSTAT (Version 2012.1.0.96, Fa. R. Fitch Software, Bad Krozingen, Deutschland). Zur statistischen Analyse der nicht parametrisch verteilten ISQ-Werte kam nach Box-Cox-Transformation der parametrische t-Test für verbundene Stichproben zum Einsatz. Zur Ermittlung von Zusammenhangsmaßen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

Die meisten Implantate ( $n = 10$ ) wurden im Oberkieferprämolarenbereich eingesetzt (Tab. 3). Der mittlere IT betrug 48,0 Ncm (Minimum: 33,0; Maximum: 80,0; SD: 13,4 Ncm). Messungen der Implantatstabilität erfolgten mit dem Ostell-Messgerät (Fa. Ostell) zum Zeitpunkt der Implantatinserktion (T0), zum Zeitpunkt der Nahtentfernung nach 7 Tagen (T1) sowie in der Folge an weiteren fünf Kontrollterminen 2 (T2), 4 (T3), 6 (T4), 8 (T5) und 12 Wochen (T6) nach Implantatinserktion. Die Messungen ergaben keine signifikanten Stabilitätsverluste während der Einheilphase. Es wurde lediglich ein leichter Abfall des mittleren ISQ vom Zeitpunkt der Insertion von 76,6 Ncm auf 74,6 Ncm zum Zeitpunkt der Nahtentfernung 7 Tage nach Insertion beobachtet. Zu allen anderen Messzeitpunkten konnte ein stetig ansteigender mittlerer ISQ ermittelt werden. Außer zum Zeitpunkt T1 war ein signifikanter Zugewinn an Implantatstabilität zwischen T0 und allen anderen Messzeitpunkten zu beobachten ( $p < 0,001$ ) (Abb. 19). Bei fast allen Implantaten lagen die meisten ISQ-Werte zu allen Messzeitpunkten zwischen 74,0 und 85,0 Ncm. Ausnahmen wurden festgestellt bei den Implantaten Nr. 4 und Nr. 6 (Abb. 20). Implantat Nr. 4 war bei einer 82-jähri-

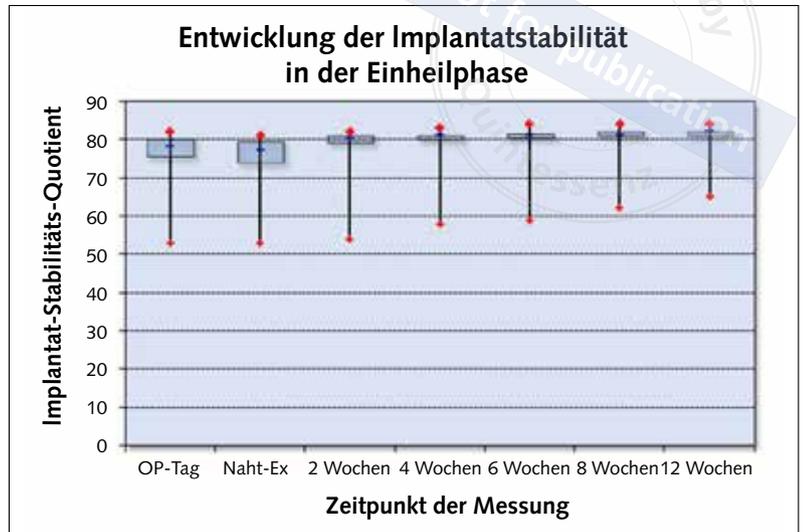


Abb. 19 Entwicklung der Implantatstabilität während des Übergangs von der primärstabilen in die sekundärstabile Verankerungsphase über einen 12-wöchigen Zeitraum.

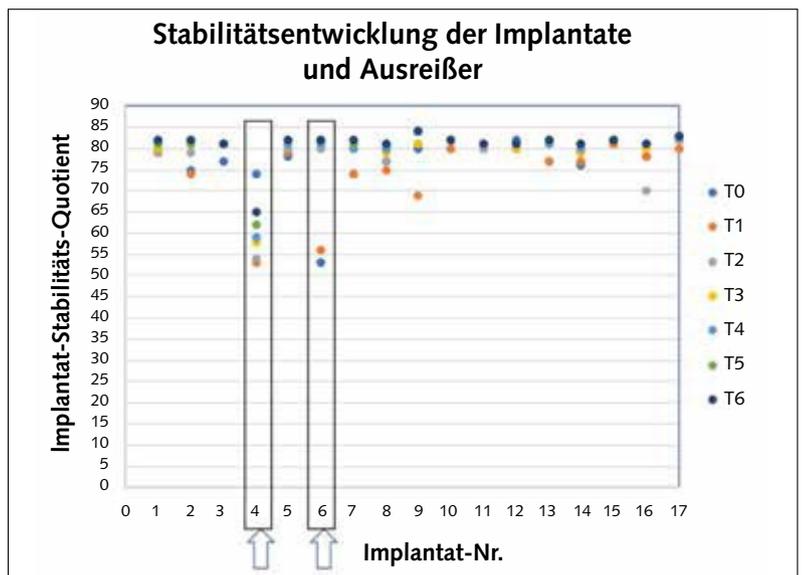


Abb. 20 Stabilitätsentwicklung der Implantate und Ausreißer.

gen Patientin in Regio 16 eingesetzt worden und erreichte zu keinem Messzeitpunkt außer bei T0 einen Wert von  $> 70,0$  Ncm, war aber infolge des guten ISQ primärstabil und daher sofort belastbar. Das Implantat Nr. 6 wurde bei einer 84-jährigen Patientin in Regio 15 (als zweites Implantat neben einem weiteren Implantat in Regio 14) eingesetzt und zeigte zu den Zeitpunkten T0 und T1 einen im Vergleich zu den anderen Implantaten unterdurch-

schnittlichen ISQ von 53,0 bzw. 56,0 Ncm, um dann zu den anderen Messzeitpunkten Stabilitätswerte  $\geq 80,0$  Ncm anzunehmen. Auch in diesem Fall war eine primärstabile Sofortbelastung aufgrund des ausreichend hohen ISQ möglich. Zwischen dem IT bei Implantatinsertion und dem ISQ bestand zu keinem Messzeitpunkt eine statistisch signifikante Korrelation, was auf einen fehlenden signifikanten Zusammenhang zwischen der Höhe der IT- und der ISQ-Werte hinwies.

## Diskussion

Bereits in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts definierte Brånemark die Osseointegration von Dentalimplantaten als den direkten, funktionellen und strukturellen Kontakt zwischen Knochen und Implantatoberfläche<sup>32,33</sup>. Während die Primärstabilität von Implantaten durch Kompression des umgebenden Gewebes im Rahmen der Implantatinsertion und die dadurch entstehende mechanische Verbindung zwischen Implantatoberfläche und Knochen bedingt ist, erfolgt die sekundärstabile Verankerung der Implantate durch Umbauprozesse im Knochen im Rahmen der Einheilung und der damit einhergehenden, von Brånemark beschriebenen Osseointegration<sup>34–36</sup>. Im Zusammenhang mit den Umbauvorgängen im Knochen und der beginnenden Osseointegration der Implantate, die in der deutschsprachigen Literatur als „Remodellierung“ und in der internationalen Literatur ebenfalls als „Remodeling“ oder auch als „Bungee Dip“<sup>36</sup> bezeichnet wird, wurde in klinischen Studien von einer Abnahme der Implantatstabilität während der Einheilphase berichtet<sup>36–38</sup>. In der Literatur unterliegen die Zeiträume, in welchen sich diese Umbauphase vollzieht, einer hohen Variabilität<sup>39</sup>. Diese wurde unter anderem auf den Einfluss der variablen Knochendichte, der Implantatgeometrie und der Implantatoberfläche, der chirurgischen Technik sowie des jeweiligen Belastungsprotokolls während der Einheilphase der Implantate zurückgeführt<sup>40</sup>.

## Implantatdesign, Implantatstabilität, Belastungs- und Versorgungsprotokoll

In der Literatur werden das Implantat- sowie das Gewindedesign als wichtige Einflussvariablen auf die Implantatstabilität im Knochen diskutiert. Der Einfluss des Makrodesigns auf die Primär- und Sekundärstabilität von Implantaten sowie auf das Verhalten des periimplantären Knochens wird jedoch in der aktuellen Literatur nicht einheitlich dargestellt. So konnten in einer Metaanalyse keine Unterschiede in der Implantatstabilität bei parallelwandigen und konischen Implantaten ermittelt werden<sup>41</sup>. Auch die Ergebnisse verschiedener randomisiert kontrollierter klinischer Studien (RCTs) zeigten keine Unterschiede bei krestalen Knochenverlusten und der Implantatstabilität in Abhängigkeit von verschiedenen Makrodesigns<sup>42,43</sup>. In Bezug auf die Überlebensraten wurden zwischen konischen und zylindrischen Implantaten ebenfalls keine Unterschiede beobachtet<sup>44</sup>. Ergebnisse anderer Untersuchungen hingegen ergaben signifikant höhere primäre Implantatstabilitätswerte bei konischen im Vergleich zu zylindrischen bzw. parallelwandigen Implantaten<sup>45,46</sup>. Ergebnisse von In-vitro-Experimenten bestätigten diese Beobachtung und berichteten, dass der IT – und damit die Primärstabilität von Implantaten – maßgeblich durch die jeweilige Implantatgeometrie bedingt waren<sup>47–50</sup>. Der Grad der primärstabilen Verankerung scheint jedoch in noch höherem Maße durch die jeweilige Knochenqualität beeinflusst zu werden<sup>26,47,51</sup>. Im lagerschwachen Knochen der D3- bzw. D4-Qualität empfehlen daher einige Autoren den Einsatz längerer Implantate, um eine ausreichende primärstabile Verankerung zu erreichen<sup>52,53</sup>. Andere Untersuchungen konnten demgegenüber zeigen, dass die Implantatstabilität bei Erhöhung des Durchmessers signifikant gesteigert werden konnte<sup>47,54–56</sup>. Ein größerer Durchmesser konnte auch im Knochen einer D4-Qualität – unabhängig von der Implantatlänge – zu einer Steigerung der Primärstabilität beitragen<sup>53</sup>. Dieser Effekt wurde in verschiedenen klinischen Untersuchungen bestätigt, in welchen kurze Implantate mit großem Durchmesser in Kiefern mit geringem Knochenangebot sofortbelastet werden konnten

und gleiche Stabilitätswerte aufwiesen wie Standardimplantate<sup>57–59</sup>. Auch die Dicke der bukkalen Knochenplatte wird als essenzieller Faktor für den Implantaterfolg in ästhetischer und funktioneller Hinsicht betrachtet<sup>60</sup>. Eine bukkale Knochenstärke vom mindestens 1,5 mm wurde in einer Finite-Elemente-Analyse (FEA) als Schwellenwert für einen krestalen Knochenhalt bezeichnet<sup>61</sup>. Bei Unterschreitung dieser residualen Knochenstärke konnte das Risiko für krestale Knochenverluste mit Augmentationsmaßnahmen gesenkt werden<sup>61</sup>. In ästhetischer Hinsicht wirkt sich eine Augmentation mit Gesteuerter Knochenregeneration („Guided bone regeneration“, GBR) mit Barrieremembranen positiv aus. Dasselbe gilt auch für eine Sofortimplantation, die sich grundsätzlich positiv auf den Erhalt des Alveolarkammvolumens und die Stabilität des periimplantären Weichgewebes auswirkt<sup>62</sup>.

Zugleich scheinen neben der Makrogeometrie auch das Schneidverhalten des Implantatgewindes sowie die Implantatoberfläche **einen entscheidenden Einfluss** auf die Primärstabilität von Implantaten zu haben<sup>47,63</sup>. Im vorliegenden Fallbeispiel und in der Patientenkohorte wurden Titanimplantate mit einem progressiven Gewindedesign und einer mittels Kaltplasma funktionalisierten Oberfläche im lagerschwachen Knochen inseriert, erfolgreich sofortbelastet und sofortprovisorisch versorgt. Die hohen Stabilitätswerte, welche nach Insertion und während der Einheilung in der vorliegenden Falldarstellung und Fallserie erreicht werden konnten, stehen im Einklang mit Studien, in welchen ebenfalls keine bzw. keine wesentliche Abnahme der Implantatstabilität während der Remodellierungsprozesse bei Implantaten des vorliegend verwendeten Typs<sup>28,29</sup> oder anderer Hersteller<sup>39,47,63–66</sup> beobachtet wurde. Ergebnisse verschiedener Untersuchungen, unter anderem von Markovic et al.<sup>64</sup>, McCullough et al.<sup>29</sup> sowie Brouwers et al.<sup>39</sup> konnten zeigen, dass ein progressives Gewindedesign sowohl zu einem höheren IT bei Implantatinsertion als auch zu höheren ISQ-Werten ohne einen nennenswerten Stabilitätsabfall während der Einheil- bzw. Remodellierungsphase führt. Wurde die Gewindetiefe an die jeweilige Knochenqualität angepasst (höhere Gewindetiefe im insuffizienten Knochenlager), konnten in anderen Untersu-

chungen sogar im lagerschwachen Knochen ähnlich hohe Stabilitätswerte wie bei Implantaten mit geringerer Schneidetiefe in qualitativ hochwertigem Knochen erzielt werden<sup>47,67,68</sup>. Mit einem tiefen v-förmigen, selbstschneidenden Gewinde waren im Tierexperiment ebenfalls deutlich höhere IT-Werte bei Insertion zu beobachten. Histomorphometrische Analysen zeigten einen signifikant größeren Implantat-Knochen-Kontakt („Bone-to-implant contact“, BIC) im Vergleich zu Implantaten mit konventioneller nichtschneidender Gewindestruktur<sup>65</sup>. Anhand ähnlicher Ergebnisse in Bezug auf hohe initiale Stabilitätswerte von Implantaten mit progressivem Gewindedesign folgerten die Autoren einer RCT, dass diese sich – wie in der vorliegenden Untersuchung – auch zum Einsatz bei Sofort- und Frühbelastungsprotokollen eignen könnten<sup>29</sup>.

In der Literatur werden für die Sofortbelastungsfähigkeit von Implantaten **IT-Werte** angegeben, die zwischen 45 Ncm<sup>12</sup> und 27 Ncm<sup>69</sup> liegen. Andere Autoren gaben an, dass das Implantatdesign maßgeblich für den jeweiligen IT ist und für eine primärstabile Verankerung durchaus unterschiedliche IT-Werte notwendig sein können<sup>50</sup>. Unklar ist, ob für die Sofortversorgung/Sofortbelastung noch höhere IT, welche in einer aktuellen Metaanalyse mit  $\geq 50,0$  Ncm angegeben wurden, notwendig sind oder auch niedrigere IT ausreichen<sup>70</sup>. Signifikante Unterschiede in Bezug auf unerwünschte Nebenwirkungen, wie etwa erhöhte krestale Knochenverluste oder biologische/technische Komplikationen, konnten zwischen hohen und niedrigen IT im Rahmen dieser Metaanalyse nicht identifiziert werden. Derzeit gilt in der klinischen Anwendung ein IT, der mindestens zwischen 30,0–35,0 Ncm liegt, als ausreichend geeignet, eine primärstabile Verankerung von sofortbelasteten Implantaten zu ermöglichen<sup>5,71</sup>. Ein hoher IT scheint sich dabei positiv (**mit höheren ISQ-Werten**) auf die **Implantatprimärstabilität** während der Einheilzeit auszuwirken<sup>26,56,72</sup>. Mit einem IT von 35,0 Ncm im Fallbeispiel und einem mittleren IT von 45,0 Ncm in der Fallserie wurden Werte erreicht, welche innerhalb und sogar oberhalb des geforderten klinischen Rahmens für eine primärstabile Verankerung und ein Sofortbelastungsprotokoll **lagen** und somit für die gewählte Versorgungsform sprechen. Fehlende

Zusammenhänge zwischen dem IT und dem ISQ zu jedem Messzeitpunkt entsprechen dabei nicht den Ergebnissen der vorgenannten Studien.

In Bezug auf die Überlebensraten und periimplantäre Knochenverluste scheint es keine Unterschiede in Abhängigkeit vom jeweiligen Belastungsprotokoll zu geben<sup>73,74</sup>. Im Seitenzahnbereich konnten in RCTs nach einer 1- bis 6-jährigen Belastungszeit keine Unterschiede bzw. gleich gute klinische und röntgenologische Ergebnisse nach konventioneller und sofortiger Belastung auf Einzelimplantaten beobachtet werden<sup>75–77</sup>. Auch in mehreren systematischen Reviews wurden diese Ergebnisse bestätigt<sup>71,78,79</sup>. Eine frühe funktionelle Belastung von Implantaten scheint darüber hinaus auch zu einem Stabilitätswachstum zu führen, was nicht nur die klinische Einsatzfähigkeit der Sofort- oder Frühbelastungsprotokolle unterstreicht, sondern auch ihren anzunehmenden positiven Einfluss auf die Osseointegration deutlich macht<sup>80</sup>. Auch die Knochendichte – als Zeichen einer guten Osseointegration und stabilen Verankerung im Knochen – war in mehreren klinischen Studien gegenüber der periimplantären Knochendichte nach konventioneller Belastung signifikant erhöht<sup>81</sup>. Neuere Untersuchungen konnten zudem zeigen, dass bei Sofortversorgung mindestens gleich gute Ergebnisse<sup>82</sup> bzw. überlegene Ergebnisse<sup>10</sup> bei der rot-weißen Ästhetik im Vergleich zur konventionellen Versorgung erzielt werden konnten. Als Vorteile einer Sofortbelastung bzw. Sofortversorgung von Implantaten wurden in der Literatur eine hohe Patientenzufriedenheit<sup>83</sup> und eine signifikante Verkürzung der Behandlungszeit genannt<sup>75</sup>. Auch im vorliegenden Patientenfall konnte, trotz der ungünstigen klinischen Voraussetzungen, mit dem verwendeten Implantatsystem, einer gesteuerten Knochenregeneration sowie durch den Einsatz einer provisorischen Sofortversorgung ein funktionell stabiles und ästhetisch ansprechendes Endergebnis erzielt werden.

### **Bioaktivierte Implantatoberflächen**

In der vorliegenden Untersuchung wurden Titanimplantate verwendet, bei welchen vor Insertion eine Funktionalisierung der Oberfläche mit Kalt-

plasma durchgeführt worden war. Titan hat sich aufgrund seiner guten Materialeigenschaften als Standardmaterial in der dentalen Implantologie bewährt<sup>84</sup>. Die bioinerten Eigenschaften des Titans haben jedoch nur ein geringes Potenzial, von sich aus das periimplantäre Knochenwachstum anzuregen, was sich negativ auf die Osseointegration des Titanimplantats auswirkt<sup>85</sup>. Da Titan aber hochgradig mit dem Umgebungssauerstoff reagiert, führt der oxidative Stress im Gewebe während der Implantatinsertion zur Ausbildung einer Oxidschicht auf der Implantatoberfläche, in die sich Kalzium- und Phosphationen aus dem umgebenden Knochen einlagern<sup>84,86</sup>. Dieser Vorgang führt letztendlich zur sogenannten „Bioaktivierung“ der inerten Implantatoberfläche und ermöglicht auf diese Weise die Osseointegration des Implantats. Diesen Effekt nutzen – neben der Kaltplasma-Vorbehandlung – auch zahlreiche andere Verfahren, die ebenfalls zu einer weiteren Oberflächenveränderung von Titanimplantaten und zur Erhöhung der osteokonduktiven und osteoinduktiven Vorgänge **an der Knochen-Implantat-Oberfläche** beitragen sollen<sup>87</sup>. Hierarchisch strukturierte Nanotopografien auf Implantatoberflächen führen zu einer Anregung der periimplantären Knochenbildung, indem sie sowohl auf zellulärer als auch molekularer Ebene auf die Osseointegrationsfähigkeit der Implantate einwirken<sup>88,89</sup>. Diese Nanotopografien können einerseits durch ablativ Verfahren wie Sandstrahlung, Säureätzung bzw. eine Kombination beider Verfahren (SLA), anodische Oxidation oder Laserablation hergestellt werden<sup>85,90,91</sup>. Weitere Verfahren basieren auf Beschichtungen mithilfe von bioaktiven Keramiken, Fluoriden, Hydroxyl- oder Kalziumapatiten, Titanitriden oder medikamentösen Layern, wie unter anderem Bisphosphonaten, „**Bone morphogenetic proteins**“ (BMPs), Simvastatin, Prostaglandin-Antagonisten oder Kalzitinin<sup>91–94</sup>. Da die Steigerung hydrophiler Oberflächeneigenschaften zu einer erhöhten Benetzbarkeit und somit zu einer verbesserten Osseointegration beitragen kann, zielen neuere Verfahren darauf ab, nanostrukturierte super- bzw. hyperhydrophile Implantatoberflächen herzustellen<sup>95–98</sup>. Diese zeichnen sich durch weitere positive Eigenschaften, wie

beispielsweise die Aktivierung proosteogener M1-Makrophagen, aus<sup>99–101</sup>. Oberflächen von Titanimplantaten verlieren während ihrer Lagerung im zeitlichen Verlauf ihre hydrophilen Eigenschaften und somit ihre Fähigkeit zur Osseointegration, da sie mit dem Luftsauerstoff reagieren und Kohlenwasserstoff auf ihrer Oberfläche anlagern<sup>33,102,103</sup>. Zur Entfernung der Kohlenwasserstoffpartikel und zur (Re-)Aktivierung der Implantatoberfläche werden die Fotofunktionalisierung mit ultraviolettem Licht (UV) und die bereits erwähnte Oberflächenbehandlung mit Kaltplasma verwendet<sup>104,105</sup>. Beide Verfahren können chairside eingesetzt werden und führen innerhalb einer kurzen Expositionszeit zu einer Veränderung der Oberflächenchemie<sup>106</sup>. Die dadurch erhöhte Benetzbarkeit der Oberfläche fördert signifikant die Zelladhäsion und -retention<sup>105,107–109</sup> und führt in der Folge zu einer verbesserten Osseointegration<sup>91,106</sup>. Zusätzlich verfügen beide Verfahren über antimikrobielle Eigenschaften und ermöglichen die Dekontamination der Implantatoberfläche<sup>110</sup>. In weiteren Untersuchungen konnte ein signifikanter Einfluss der Fotofunktionalisierung auf die Steigerung der Implantatstabilität während der Einheilphase nachgewiesen werden<sup>106,111–116</sup>. Die Oberflächenvorbehandlung mit Kaltplasma könnte infolge der dadurch erfolgten Bioaktivierung der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Implantate ebenfalls zu ihrer guten Osseointegration während der Einheilphase beigetragen haben.

## Fazit

Der Einsatz von Titanimplantaten mit einem progressiven Gewinde und einer Kaltplasma-Vorbehandlung der Oberfläche in Verbindung mit einer gesteuerten Knochenregeneration macht es möglich, Implantate auch im lagerschwachen Knochen primärstabil zu verankern und sofortprothetisch zu versorgen. Da der häufig beobachtete Stabilitätsverlust im Zusammenhang mit den Remodellierungsvorgängen im Lagerknochen durch die Verwendung solcher Implantatsysteme offensichtlich ausbleibt, ist es möglich, Patienten auch bei

ungünstigen Voraussetzungen vorhersehbar und erfolgreich nach einem Sofortversorgungs- und Sofortbelastungsprotokoll implantatprothetisch zu versorgen. Es scheint, dass bei einer entsprechenden Patientenselektion darüber hinaus auch mittelfristig gute ästhetische und funktionell stabile Verhältnisse – insbesondere in Bezug auf die Weichgewebeästhetik – erzielt werden können. Abzuwarten sind jedoch Langzeitergebnisse, welche zum jetzigen Zeitpunkt noch fehlen.

## Danksagung

Die Autoren danken der Zahntechnikerin Christine Linse (Labor Sandmair Zahntechnik, München) sehr herzlich für die Herstellung der Provisorien und der definitiven Kronen.

## Literatur

1. Esposito M, Grusovin MG, Polyzos IP, Felice P, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: dental implants in fresh extraction sockets (immediate, immediate-delayed and delayed implants). *Cochrane Database Syst Rev* 2010;CD005968.
2. Esposito M, Grusovin MG, Maghaireh H, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: different times for loading dental implants. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;CD003878.
3. Gallucci GO, Hamilton A, Zhou W, Buser D, Chen S. Implant placement and loading protocols in partially edentulous patients: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(Suppl 16):106–134.
4. Gallucci GO, Morton D, Weber HP. Loading protocols for dental implants in edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(Suppl):132–146.
5. Ganeles J, Wismeijer D. Early and immediately restored and loaded dental implants for single-tooth and partial-arch applications. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(Suppl):92–102.
6. Grütter L, Belser UC. Implant loading protocols for the partially edentulous esthetic zone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(Suppl):169–179.
7. Cochran DL, Morton D, Weber HP. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(Suppl):109–113.
8. Weber HP, Morton D, Gallucci GO, Rocuzzo M, Cordaro L, Grütter L. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(Suppl):180–183.
9. Arora H, Khzam N, Roberts D, Bruce WL, Ivanovski S. Immediate implant placement and restoration in the anterior maxilla: Tissue dimensional changes after 2-5 year follow up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017;19:694–702.

10. Arora H, Ivanovski S. Clinical and aesthetic outcomes of immediately placed single-tooth implants with immediate vs. delayed restoration in the anterior maxilla: A retrospective cohort study. *Clin Oral Implants Res* 2018;29:346–352.
11. Schuster AJ, Marcello-Machado RM, Bielemann AM, Possebon A, Chagas Júnior OL, Faot F. Immediate vs conventional loading of Facility-Equator system in mandibular overdenture wearers: 1-year RCT with clinical, biological, and functional evaluation. *Clin Implant Dent Relat Res* 2020;22:270–280.
12. Lorenzoni M, Pertl C, Zhang K, Wimmer G, Wegscheider WA. Immediate loading of single-tooth implants in the anterior maxilla. Preliminary results after one year. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:180–187.
13. Hui E, Chow J, Li D, Liu J, Wat P, Law H. Immediate provisional for single-tooth implant replacement with Brånemark system: preliminary report. *Clin Implant Dent Relat Res* 2001;3:79–86.
14. Rai S, Rai A, Kumar T, Kumari M, Somanna MK, Bandgar S. Immediately Loaded Single Unit Dental Implants: A Clinical Study. *J Pharm Bioallied Sci* 2020;12:S245–S253.
15. Romanos G, Froum S, Hery C, Cho SC, Tarnow D. Survival rate of immediately vs delayed loaded implants: analysis of the current literature. *J Oral Implantol* 2010;36:315–324.
16. Zhang S, Wang S, Song Y. Immediate loading for implant restoration compared with early or conventional loading: A meta-analysis. *J Craniomaxillofac Surg* 2017;45:793–803.
17. Misch C. Bone density: A key determinant for clinical success. St Louis: CV Mosby Company, 1999.
18. Lekholm U, Zarb G. Patient selection and preparation. In: Brånemark P-I, Zarb G, Albrektsson T (eds). *Tissue integrated prostheses: Osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence, 1985.
19. Bornstein MM, Wittneben JG, Brägger U, Buser D. Early loading at 21 days of non-submerged titanium implants with a chemically modified sandblasted and acid-etched surface: 3-year results of a prospective study in the posterior mandible. *J Periodontol* 2010;81:809–818.
20. Muelas-Jiménez MI, Olmedo-Gaya MV, Manzano-Moreno FJ, Reyes-Botella C, Vallecillo-Capilla M. Long-Term Survival of Dental Implants with Different Prosthetic Loading Times in Healthy Patients: A 5-Year Retrospective Clinical Study. *J Prosthodont* 2017;26:991–06.
21. Al-Jamal MFJ, Al-Jumaily HA. Can the Bone Density Estimated by CBCT Predict the Primary Stability of Dental Implants? A New Measurement Protocol. *J Craniofac Surg* 2021;32:e171–e174.
22. Becker W, Huijoe P, Becker BE. Resonance frequency analysis: Comparing two clinical instruments. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:308–312.
23. Blume O, Wildenhof J, Otto S, Probst FA. Influence of Clinical Parameters on the Primary Stability of a Tapered Dental Implant: A Retrospective Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2021;36:762–770.
24. Chen MH, Lyons KM, Tawse-Smith A, Ma S. Clinical Significance of the Use of Resonance Frequency Analysis in Assessing Implant Stability: A Systematic Review. *Int J Prosthodont* 2019;32:51–58.
25. Turkyilmaz I, Company AM. Sensitivity of resonance frequency analysis method to assess implant stability. *N Y State Dent J* 2011;77:44–49.
26. Farronato D, Manfredini M, Stocchero M, Caccia M, Azzi L, Farronato M. Influence of Bone Quality, Drilling Protocol, Implant Diameter/Length on Primary Stability: An In Vitro Comparative Study on Insertion Torque and Resonance Frequency Analysis. *J Oral Implantol* 2020;46:182–189.
27. Orlando F, Arosio F, Arosio P, Di Stefano DA. Bone Density and Implant Primary Stability. A Study on Equine Bone Blocks. *Dent J (Basel)* 2019;7:73.
28. Hoekstra JWM, van Oirschot BA, Jansen JA, van den Beucken JJ. Innovative implant design for continuous implant stability: A mechanical and histological experimental study in the iliac crest of goats. *J Mech Behav Biomed Mater* 2021;122:104651.
29. McCullough JJ, Klokkevold PR. The effect of implant macro-thread design on implant stability in the early post-operative period: a randomized, controlled pilot study. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:1218–1226.
30. Raes F, Eccellente T, Lenzi C, Ortolani M, Luongo G, Mangano C et al. Immediate functional loading of single implants: a multicenter study with 4 years of follow-up. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2018;12:26–37.
31. Choukroun J, Adda F, Schoeffler C, Vervelle A. Une opportunité en parodontologie: **Le PRF. Implantodontie** 2001;42:55–62.
32. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1969;3:81–100.
33. Lee JH, Ogawa T. The biological aging of titanium implants. *Implant Dent* 2012;21:415–421.
34. Sennerby L. Resonance frequency analysis for implant stability measurements. A review. *Integration Diagn Update* 2015;1:11.
35. Monje A, Ravidà A, Wang HL, Helms JA, Brunski JB. Relationship Between Primary/Mechanical and Secondary/Biological Implant Stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:s7–s23.
36. Rosen PS. Measurement of the “Bungee Dip” in Implant Stability Using Resonance Frequency Analysis: Two Case Reports. **Compend Contin Educ Dent** 2018;39:706–712.
37. van Eekeren P, Said C, Tahmaseb A, Wismeijer D. Resonance Frequency Analysis of Thermal Acid-Etched, Hydrophilic Implants During First 3 Months of Healing and Osseointegration in an Early-Loading Protocol. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015;30:843–850.
38. Ersanli S, Karabuda C, Beck F, Leblebicioglu B. Resonance frequency analysis of one-stage dental implant stability during the osseointegration period. **J Periodontol** 2005;76:1066–1071.
39. Brouwers JEIG, Buis S, de Groot PG, de Laat B, Remijn JA. Resonance frequency analysis with two different devices after conventional implant placement with ridge preservation: A prospective pilot cohort study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2021 23:789–799.
40. Trisi P, Berardini M, Falco A, Podaliri Vulpiani M. Validation of value of actual micromotion as a direct measure of implant micromobility after healing (secondary implant stability). An in vivo histologic and biomechanical study. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:1423–1430.
41. Atieh MA, Alsabeeha N, Duncan WJ. Stability of tapered and parallel-walled dental implants: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:634–645.
42. Díaz-Sánchez RM, Delgado-Muñoz JM, Serrera-Figallo MA, González-Martín MI, Torres-Lagares D, Gutiérrez-Pérez JL. Analysis of marginal bone loss and implant stability quotient by resonance frequency analysis in different osseointegrated implant systems. Randomized prospective clinical trial. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2019;24:e260–e264.
43. Waechter J, Madruga MM, Carmo Filho LCD, Leite FRM, Schinestsck AR, Faot F. Comparison between tapered and cylindrical implants in the posterior regions of the mandible: A prospective, randomized, split-mouth clinical

- trial focusing on implant stability changes during early healing. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017;19:733–741.
44. Alshehri M, Alshehri F. Influence of Implant Shape (Tapered vs Cylindrical) on the Survival of Dental Implants Placed in the Posterior Maxilla: A Systematic Review. *Implant Dent* 2016;25:855–860.
  45. Torroella-Saura G, Mareque-Bueno J, Cabratosa-Termes J, Hernández-Alfaro F, Ferrés-Padró E, Calvo-Guirado JL. Effect of implant design in immediate loading. A randomized, controlled, split-mouth, prospective clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:240–244.
  46. Herrero-Climent M, Lemos BF, Herrero-Climent F, Falcao C, Oliveira H, Herrera M et al. Influence of Implant Design and Under-Preparation of the Implant Site on Implant Primary Stability. An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:4436.
  47. Falco A, Berardini M, Trisi P. Correlation Between Implant Geometry, Implant Surface, Insertion Torque, and Primary Stability: In Vitro Biomechanical Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2018;33:824–830.
  48. Karl M, Irastorza-Landa A. Beeinflusst das Implantat-design die Primärstabilität bei der Sofortimplantation? *Quintessenz* 2018;69:388–394.
  49. Karl M, Irastorza-Landa A. Does implant design affect primary stability in extraction sites? *Quintessence Int* 2017;48:219–224.
  50. Staedt H, Palarie V, Staedt A, Wolf JM, Lehmann KM, Ottl P et al. Primary Stability of Cylindrical and Conical Dental Implants in Relation to Insertion Torque-A Comparative Ex Vivo Evaluation. *Implant Dent* 2017;26:250–255.
  51. Sugijura T, Yamamoto K, Horita S, Murakami K, Kirita T. Evaluation of Primary Stability of Cylindrical and Tapered Implants in Different Bone Types by Measuring Implant Displacement: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent* 2019;10:471–476.
  52. Barikani H, Rashtak S, Akbari S, Badri S, Daneshparvar N, Rokn A. The effect of implant length and diameter on the primary stability in different bone types. *J Dent (Tehran)* 2013;10:449–455.
  53. Mohlhenrich SC, Heussen N, Elvers D, Steiner T, Holze F, Modabber A. Compensating for poor primary implant stability in different bone densities by varying implant geometry: a laboratory study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;44:1514–1520.
  54. Herrero-Climent M, López-Jarana P, Lemos BF, Gil FJ, Falcão C, Rios-Santos JV et al. Relevant Design Aspects to Improve the Stability of Titanium Dental Implants. *Materials (Basel)* 2020;13:1910.
  55. Javed F, Romanos GE. Role of implant diameter on long-term survival of dental implants placed in posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Investig* 2015;19:1–10.
  56. Gomez-Polo M, Ortega R, Gomez-Polo C, Martin C, Celemin A, Del Rio J. Does Length, Diameter, or Bone Quality Affect Primary and Secondary Stability in Self-Tapping Dental Implants? *J Oral Maxillofac Surg* 2016;74:1344–1353.
  57. Weerapong K, Sirimongkolwattana S, Sastraruji T, Khongkhunthian P. Comparative study of immediate loading on short dental implants and conventional dental implants in the posterior mandible: A randomized clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:141–149.
  58. Alvira-Gonzalez J, Diaz-Campos E, Sanchez-Garcés MA, Gay-Escoda C. Survival of immediately versus delayed loaded short implants: A prospective case series study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2015;20:e480–e488.
  59. Tözüm TF, Turkyilmaz I, Bal BT. Initial stability of two dental implant systems: influence of buccolingual width and probe orientation on resonance frequency measurements. *Clin Implant Dent Relat Res* 2010;12:194–201.
  60. Yoda N, Zheng K, Chen J, Li W, Swain M, Sasaki K et al. Bone morphological effects on post-implantation remodeling of maxillary anterior buccal bone: A clinical and biomechanical study. *J Prosthodont Res* 2017;61:393–402.
  61. Zheng K, Yoda N, Chen J, Liao Z, Zhong J, Koyama S et al. Effects of buccal thickness augmentation on bone remodeling after maxillary anterior implantation. *Bio-mech Model Mechanobiol* 2020;19:133–145.
  62. AlKudmani H, Al Jasser R, Andreana S. Is Bone Graft or Guided Bone Regeneration Needed When Placing Immediate Dental Implants? A Systematic Review. *Implant Dent* 2017;26:936–944.
  63. Liddell RS, Ajami E, Li Y, Bajenova E, Yang Y, Davies JE. The influence of implant design on the kinetics of osseointegration and bone anchorage homeostasis. *Acta Biomater* 2021;121:514–526.
  64. Markovic A, Calvo-Guirado JL, Lazic Z, Gomez-Moreno G, Calasan D, Guardia J et al. Evaluation of primary stability of self-tapping and non-self-tapping dental implants. A 12-week clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:341–349.
  65. Mukhtadar AK, Gangaiah M, Chrcanovic BR, Chowdhary R. Evaluation of the effect of self-cutting and nonself-cutting thread designed implant with different thread depth on variable insertion torques: An histomorphometric analysis in rabbits. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:507–514.
  66. Todorovic VS, Vasovic M, Beetge MM, van Zyl AW, Kokovic V. Stability Development of Immediately Loaded Hybrid Self-Tapping Implants Inserted in the Posterior Maxilla: 1-Year Results of a Randomized Controlled Trial. *J Oral Implantol* 2017;43:33–38.
  67. Makary C, Menhall A, Zammari C, Lombardi T, Lee SY, Stacchi C et al. Primary Stability Optimization by Using Fixtures with Different Thread Depth According To Bone Density: A Clinical Prospective Study on Early Loaded Implants. *Materials (Basel)* 2019;12:2398.
  68. Staedt H, Heimes D, Lehmann KM, Ottl P, Bjelopavlovic M, Wagner W et al. Does the Modification of the Apical Geometry of a Dental Implant Affect Its Primary Stability? A Comparative Ex Vivo Study. *Materials (Basel)* 2021;14:1728.
  69. Glauser R, Lundgren AK, Gottlow J, Sennerby L, Portmann M, Ruhstaller P et al. Immediate occlusal loading of Brånemark TiUnite implants placed predominantly in soft bone: 1-year results of a prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003;5(Suppl 1):47–56.
  70. Atieh MA, Baqain ZH, Tawse-Smith A, Ma S, Almoselli M, Lin L et al. The influence of insertion torque values on the failure and complication rates of dental implants: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2021;23:341–360.
  71. Papispyridakos P, Chen CJ, Chuang SK, Weber HP. Implant loading protocols for edentulous patients with fixed prostheses: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29(Suppl):256–270.
  72. Sarfaraz H, Johri S, Sucheta P, Rao S. Study to assess the relationship between insertion torque value and implant stability quotient and its influence on timing of functional implant loading. *J Indian Prosthodont Soc* 2018;18:139–146.
  73. Benic GI, Mir-Mari J, Hämmerle CH. Loading protocols for single-implant crowns: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29(Suppl):222–238.
  74. Al-Sawai AA, Labib H. Success of immediate loading implants compared to conventionally-loaded implants: a literature review. *J Investig Clin Dent* 2016;7:217–224.

75. Chidagam P, Gande VC, Yadlapalli S, Venkata RY, Kondaka S, Chedalawada S. Immediate Versus Delayed Loading of Implant for Replacement of Missing Mandibular First Molar: A Randomized Prospective Six Years Clinical Study. *J Clin Diagn Res* 2017;11:ZC35–ZC39.
76. Dard M, Shiota M, Sanda M, Yajima Y, Sekine H, Kasugai S. A randomized, 12-month controlled trial to evaluate non-inferiority of early compared to conventional loading of modSLA implants in single tooth gaps. *Int J Implant Dent* 2016;2:10.
77. Yildiz P, Zortuk M, Kilic E, Dincel M, Albayrak H. Esthetic outcomes after immediate and late implant loading for a single missing tooth in the anterior maxilla. *Niger J Clin Pract* 2018;21:1164–1170.
8. Engelhardt S, Papacosta P, Rathe F, Ozen J, Jansen JA, Junker R. Annual failure rates and marginal bone-level changes of immediate compared to conventional loading of dental implants. A systematic review of the literature and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:671–687.
79. Gallardo YNR, da Silva-Olivio IR, Gonzaga L, Sesma N, Martin W. A Systematic Review of Clinical Outcomes on Patients Rehabilitated with Complete-Arch Fixed Implant-Supported Prosthesis According to the Time of Loading. *J Prosthodont* 2019;28:958–968.
80. Brizuela-Velasco A, Chávarri-Prado D. The functional loading of implants increases their stability: A retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2019;21:122–129.
81. Akođlan M, Tatli U, Kurtođlu C, Salimov F, Kürkçü M. Effects of different loading protocols on the secondary stability and peri-implant bone density of the single implants in the posterior maxilla. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017;19:624–631.
82. Gjældvold B, Kisch J, Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Clinical and radiographic outcome following immediate loading and delayed loading of single-tooth implants: Randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017;19:549–558.
83. Huynh-Ba G, Oates TW, Williams MAH. Immediate loading vs. early/conventional loading of immediately placed implants in partially edentulous patients from the patients' perspective: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(Suppl 16):255–269.
84. Branemark R, Branemark PI, Rydevik B, Myers RR. Osseointegration in skeletal reconstruction and rehabilitation: a review. *J Rehabil Res Dev* 2001;38:175–181.
85. Ren B, Wan Y, Liu C, Wang H, Yu M, Zhang X et al. Improved osseointegration of 3D printed Ti-6Al-4V implant with a hierarchical micro/nano surface topography: An in vitro and in vivo study. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2021;118:111505.
86. Dohan Ehrenfest DM, Coelho PG, Kang BS, Sul YT, Albrektsson T. Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography. *Trends Biotechnol* 2010;28:198–206.
87. Ramazanoglu M, Oshida Y. Osseointegration and Bioscience of Implant Surfaces - Current Concepts at Bone-Implant Interface. In: *Turkyilmaz I (ed). Implant Dentistry - A Rapidly Evolving Practice*. Rijeka: InTech, 2011:58–82.
88. Liu W, Zhang G, Wu J, Zhang Y, Liu J, Luo H et al. Insights into the angiogenic effects of nanomaterials: mechanisms involved and potential applications. *J Nanobiotechnology* 2020;18:9.
89. Zemtsova EG, Yudincheva NM, Morozov PE, Valiev RZ, Smirnov VM, Shevtsov MA. Improved osseointegration properties of hierarchical microtopographic/nanotopographic coatings fabricated on titanium implants. *Int J Nanomedicine* 2018;13:2175–2188.
90. Yang Y, Zhang T, Jiang M, Yin X, Luo X, Sun H. Effect of the immune responses induced by implants in an integrated three-dimensional micro-nano topography on osseointegration. *J Biomed Mater Res A* 2021;109:1429–1440.
91. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C et al. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. *Biomed Res Int* 2016;2016:6285620.
92. Xuereb M, Camilleri J, Attard NJ. Systematic review of current dental implant coating materials and novel coating techniques. *Int J Prosthodont* 2015;28:51–59.
93. Alenezi A, Chrcanovic B, Wennerberg A. Effects of Local Drug and Chemical Compound Delivery on Bone Regeneration Around Dental Implants in Animal Models: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2018;33:e1–e18.
94. Barik A, Chakravorty N. Targeted Drug Delivery from Titanium Implants: A Review of Challenges and Approaches. *Adv Exp Med Biol* 2020;1251:1–17.
95. El Chaar E, Zhang L, Zhou Y, Sandgren R, Fricain JC, Dard M et al. Osseointegration of Superhydrophilic Implants Placed in Defect Grafted Bones. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:443–450.
96. Jennissen H, Lüers S, Laub M. Hyperhydrophilic Surfaces, the Inverse Lotus Effect and Imaginary Contact Angles. *Biomed Tech* 2012;57:915–918.
97. Szmukler-Moncler S, Blus C, Morales Schwarz D, Orrù G. Characterization of a Macro- and Micro-Textured Titanium Grade 5 Alloy Surface Obtained by Etching Only without Sandblasting. *Materials (Basel)* 2020;13:5074.
98. Velloso G, Moraschini V, Dos Santos Porto Barboza E. Hydrophilic modification of sandblasted and acid-etched implants improves stability during early healing: a human double-blind randomized controlled trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2019;48:684–690.
99. Hamlet SM, Lee RSB, Moon HJ, Alfarsi MA, Ivanovski S. Hydrophilic titanium surface-induced macrophage modulation promotes pro-osteogenic signalling. *Clin Oral Implants Res* 2019;30:1085–1096.
100. Choi SM, Park JW. Multifunctional effects of a modification of SLA titanium implant surface with strontium-containing nanostructures on immunoinflammatory and osteogenic cell function. *J Biomed Mater Res A* 2018;106:3009–3020.
101. Wang J, Meng F, Song W, Jin J, Ma Q, Fei D et al. Nanostructured titanium regulates osseointegration via influencing macrophage polarization in the osteogenic environment. *Int J Nanomedicine* 2018;13:4029–4043.
102. Att W, Hori N, Takeuchi M, Ouyang J, Yang Y, Anpo M et al. Time-dependent degradation of titanium osteoconductivity: an implication of biological aging of implant materials. *Biomaterials* 2009;30:5352–5363.
103. Att W, Ogawa T. Biological aging of implant surfaces and their restoration with ultraviolet light treatment: a novel understanding of osseointegration. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:753–761.
104. Henningsen A, Smeets R, Heuberger R, Jung OT, Hanken H, Heiland M et al. Changes in surface characteristics of titanium and zirconia after surface treatment with ultraviolet light or non-thermal plasma. *Eur J Oral Sci* 2018;126:126–134.
105. Smeets R, Henningsen A, Heuberger R, Hanisch O, Schwarz F, Precht C. Influence of UV Irradiation and Cold Atmospheric Pressure Plasma on Zirconia Surfaces: An In Vitro Study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:329–336.

106. Pesce P, Menini M, Santori G, Giovanni E, Bagnasco F, Canullo L. Photo and Plasma Activation of Dental Implant Titanium Surfaces. A Systematic Review with Meta-Analysis of Pre-Clinical Studies. *J Clin Med* 2020;**9**:2817.
107. Guo L, Smeets R, Kluwe L, Hartjen P, Barbeck M, Cacaci C et al. Cytocompatibility of Titanium, Zirconia and Modified PEEK after Surface Treatment Using UV Light or Non-Thermal Plasma. *Int J Mol Sci* 2019;**20**:5596.
108. Guo L, Zou Z, Smeets R, Kluwe L, Hartjen P, Cacaci C et al. Time Dependency of Non-Thermal Oxygen Plasma and Ultraviolet Irradiation on Cellular Attachment and mRNA Expression of Growth Factors in Osteoblasts on Titanium and Zirconia Surfaces. *Int J Mol Sci* 2020;**21**:8598.
109. Henningsen A, Smeets R, Hartjen P, Heinrich O, Heuberger R, Heiland M et al. Photofunctionalization and non-thermal plasma activation of titanium surfaces. *Clin Oral Investig* 2018;**22**:1045–1054.
110. Hui WL, Perrotti V, Iaculli F, Piattelli A, Quaranta A. The Emerging Role of Cold Atmospheric Plasma in Implantology: A Review of the Literature. *Nanomaterials (Basel)* 2020;**10**:1505.
111. Hirota M, Ozawa T, Iwai T, Ogawa T, Tohnai I. Implant Stability Development of Photofunctionalized Implants Placed in Regular and Complex Cases: A Case-Control Study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;**31**:676–686.
112. Kitajima H, Ogawa T. The Use of Photofunctionalized Implants for Low or Extremely Low Primary Stability Cases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;**31**:439–447.
113. Dini C, Nagay BE, Magno MB, Maia LC, Barão VAR. Photofunctionalization as a suitable approach to improve the osseointegration of implants in animal models-A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2020;**31**:785–802.
114. Choi B, Lee YC, Oh KC, Lee JH. Effects of photofunctionalization on early osseointegration of titanium dental implants in the maxillary posterior region: a randomized double-blinded clinical trial. *Int J Implant Dent* 2021;**7**:37.
115. Puisys A, Schlee M, Linkevicius T, Petrakakis P, Tjaden A. Photo-activated implants: a triple-blinded, split-mouth, randomized controlled clinical trial on the resistance to removal torque at various healing intervals. *Clin Oral Investig* 2020;**24**:1789–1799.
116. Sandhu R, Kheur M, Lakha T, Kheur S, Le B. Comparative evaluation of implant stability quotient trends, crestal bone loss and survival of photofunctionalised and untreated dental implants: A split-mouth randomised controlled clinical trial. *Int J Oral Implantol (Berl)* 2021;**14**:127–138.

## Immediate loading of implants in the compromised maxillary anterior region

Can we do what we want or do we want what we can?

### KEY WORDS

*implant insertion, loading time, implant stability, nonthermal plasma activation, implant thread design, esthetic anterior restoration, soft tissue management*

### ABSTRACT

Sufficient primary implant stability is a prerequisite for predictable implant-prosthetic restoration according to the immediate or early loading protocol. In particular, the increased esthetic awareness of patients and the desire for implant prosthetic restoration in a timely manner have led to immediate or early implant restoration and implant loading, getting increasingly into the focus of dental practitioners. The desired restoration and loading protocols can be implemented even in compromised bone by means of novel nanotopographies, functionalized implant surfaces after UV irradiation/nonthermal plasma activation and/or progressive thread designs. By restoring the implant immediately after insertion, an adequate soft tissue management can be applied through the design of the temporary prosthetic restoration in order to get an optimum esthetic result. The present publication introduces the results after immediate restoration and immediate loading with implants, comprising a progressive thread design and a functionalized surface by means of a case report and a case series.



**Peter Randelzhofer**

Dr. med. dent.  
Implantat Competence Centrum München  
Weinstraße 4  
80333 München

**Ralf Smeets**

Prof. Dr. med, Dr. med. dent.  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf  
Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie  
Martinistraße 22  
20251 Hamburg

**Peter Randelzhofer**

**Korrespondenzadresse:**

Dr. Peter Randelzhofer, E-Mail: [peter.randelzhofer@web.de](mailto:peter.randelzhofer@web.de)

**Claudio Cacaci**

Dr. med. dent.  
Implantat Competence Centrum München  
Weinstraße 4, 80333 München

**Angela Bergmann**

Dr. med. dent.

**Pantelis Petrakakis**

Dr. med. dent.

Beide:

Hammer Straße 54, 40219 Düsseldorf

